

## 特集：3次元地理空間情報の展望

## 【資料】

## 屋内外シームレス測位における IMES (Indoor Messaging System) の機能

鳥本 秀幸\*・石井 真\*・マナンダー デイネス\*

キーワード：IMES (Indoor Messaging System), 屋内測位, 屋内基準点

## 1. はじめに

2012年の世界の携帯電話契約数は66億5,717万8,000契約であった。国連の人口統計によると、世界の人口は2012年末現在で70億5,200万人超となっているため、世界人口に対する携帯電話普及率は、94.4%と概算される(矢野経済研究所, 2013)。

また2013年は70億9,073万5,000契約(普及率99.6%)となる見込みであり、携帯電話のニーズはまだ高く、2014年には75億3,962万5,000契約(矢野経済研究所, 2013)となり、100%近くに到達し、また、現在生産されているほとんどのスマートフォンには、利用者の位置を何時でも把握できるGNSS(Global Navigation Satellite System)測位機能が標準搭載されている。

GNSSシステムは、GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, IRNSS, QZSS等の衛星を利用し、屋外での測位を行うために設計されており、多くのGNSSシステムアプリケーションは屋外の環境に特化している。しかし、GNSS機能はスマートフォンをはじめとする携帯電話、ナビゲーションシステム、PND(Personal Navigation Device)、ゲーム機、セキュリティ端末等多くの機器に組み込まれており、これらのシステムの信頼性、有効性、正確さは屋外で機能しても、屋内で同じ性能で利用できないことが大きな課題となっている。モバイル端末機の普及によって、これらの装置はよりいっそう屋内の環境で利用される機会が多く、それゆえ、屋内の正確なポジションデータを提供するシステムの必要性が高まっている。GPSの近代化信号L5のような近代化された信号でさえ、窓際などガラスの窓あるいは壁を持った部屋でも若干のGPS信号が受信できる環境では、現在よりも良い測位性能を示すものと期待されるが、それでも屋内測位での解決策には至らない。

現在のところ、屋内測位に関してA-GPS(アシストGPS)、WiFi、低消費電力型のブルートゥース(BTLE)などを用いて屋内測位を実現しようとしているが、誤差が大きいことや位置情報そのものを得

ることが難しいなど、屋内測位に関しては依然として課題が大きい。そのような時代背景の中、宇宙航空研究開発機構(以下、JAXA)と共同でGNSS受信機による屋内外シームレス測位ができるIMES(Indoor Messaging System)技術が開発され、社会インフラとして具体的な導入に向け動きが活発化している。

## 2. IMES 開発の経緯

GPSの屋内測位を実現するため、初期段階に検討されたスードライトシステム(疑似衛星システム)は、送信機を屋内に配置し、屋外測位と同じように送信機(衛星)と受信機までのそれぞれの距離を測定して、位置を確定する方式であるが、送信機は、少なくとも4基かそれ以上のユニットを必要とする。広範囲をカバーするためには、さらに多くの送信機を必要とし、それらは相互に高精度のタイミングで同期させなければならない。また、スードライトシステムでは、屋外のGPS測位で受信機が衛星位置を知る必要があるのと同様に、送信機の位置のデータベースを持つ必要がある。さらには、屋内環境での信号伝搬は、乱反射の影響が多く、筆者らが繰り返し行った実証実験の経験からも正確な距離を測定することは非常に難しいと判断している。

このように屋内空間では、GPS信号を用いての測距による測位が難しいことを十分に認識したうえで開発されたのがIMES測位システムである(例えば

表1 IMESとスードライトとの違い

項目	IMES	Pseudolite
擬似距離の計測	不要	要
送信機側の時刻同期	不要	要
屋内反射波の影響	無	影響大・不安定
設置の簡易度	大	極めて複雑
2次元測位	1個	3個一組
3次元測位	1個	4個一組
静止状態における初期位置	表示可能	表示不可能

Manandhar, D. and Torimoto H. (2011) に加筆

\*測位衛星技術(株)

ションメッセージを緯度、経度、高さでフロア高に置き換え、GPS 信号と同等な信号で送信する。IMES メッセージは、携帯電話ユーザーなどの歩行者が建物の中にいる際に、そのフロア階を情報に加えることで 3 次元位置を確定する。

IMES の最も重要な特徴は、GNSS 測位とのシームレスな測位連携である。GNSS 受信機では、上空に見える GNSS 衛星をそれぞれ与えられている PRN 番号 (衛星番号を示す擬似雑音符号のビット配列に關係した番号) を認識して衛星を捕捉する。IMES も GNSS と同様に PRN 番号が付与されているので、GNSS 受信機は、IMES 信号も GNSS 信号として同時に捕捉することができる。

図 3 に IMES 信号を GPS 受信機で受信している時の状況を示す。図の左上は屋外で GPS 信号のみを受信した時の状況、右上は入り口付近で GPS 信号と IMES 信号が両方受信できている場所での状況、下は屋内深部で GPS 信号は届かず IMES 信号のみを受信している状況を示している。赤枠の部分が IMES 信号である。

屋外と屋内の測位の切り替えは、各信号の受信状況に応じて自動的に行われる。GNSS 受信機は、IMES 信号と GNSS 信号両方受信できている入口付近では、GNSS と IMES どちらの測位解も有しており、そのまま屋内深部に入って、IMES 信号のみになった場合は IMES 位置情報を測位解とする。このように GNSS 受信機のみでシームレス測位が実現できるので、屋外と屋内の測位手法を切り替えることなくシームレスな測位が実現できている。

送信される IMES 位置情報及び送信機の設置運用については、JAXA が主体となって管理しており、国

土地院の場所情報コードとも連携している。屋内で得られる IMES 位置情報は、正確な位置情報であるため、屋内の基準点として活用されることを主眼とし、特に利用される位置情報の確実性が求められるような業務用途でのニーズが高く先行して利用が進むものと考えられる。

### 5) 屋内測位システムの比較

これまで紹介した屋内測位システムの特徴を比較すると、表 2 のようになる。IMES が、GNSS 受信機を対象にしたオープンな位置情報 (世界測地系に準拠) を送信しているのに対して、WiFi や BTLE は、それぞれの規格で定められた機器固有の ID 情報とその距離を得るための信号強度を受信して、別の DB に問い合わせを行うことで場所や特定情報を得る DB 参照型になっている。

表 2 屋内測位システムの比較

屋内測位システム名	送信情報	GPS連携	運用体制	シームレス測位	精度
IMES	位置情報	○	公的運用	○	高精度 確定位置
A-GPS	衛星軌道 情報他	○	企業運用	△	誤差大
WiFi	SSID	×	企業運用	△	誤差大
BTLE	UUID	×	企業運用	×	誤差大

A-GPS は、GPS 測位と基本同じであるが、測位に必要な衛星の軌道情報等をナビゲーションメッセージとして衛星から受信するのではなく、通信回線経由で入手するので、窓際など GPS 信号が受信できる屋内で測位が可能である。ただし、この場合、衛星信号を周辺のビル等に反射した間接波を受信することになるので、測位精度は大きく劣化する。

## 4. IMES 信号の特性と課題

### 1) IMES 信号の諸元

IMES 信号は、IMES から GPS 信号への干渉影響を最小にするために GPS 中心周波数から +8.2 kHz ずらした周波数で送信する。PRN 番号は、173 から 182 まで 10 個の PRN コードが IMES のために割り当てられている。現在、このコード割り当てに関しては、日本のみとなっている。IMES の信号諸元は、表 3 に示す。

IMES 信号から得られるナビゲーションメッセージは、4 種類定められている (図 4)。最も重要なメッセージはタイプ 1 (000) で緯度・経度とフロア階数を伝え、タイプ 2 (001) では、加えて高さ情報を伝える。タイ

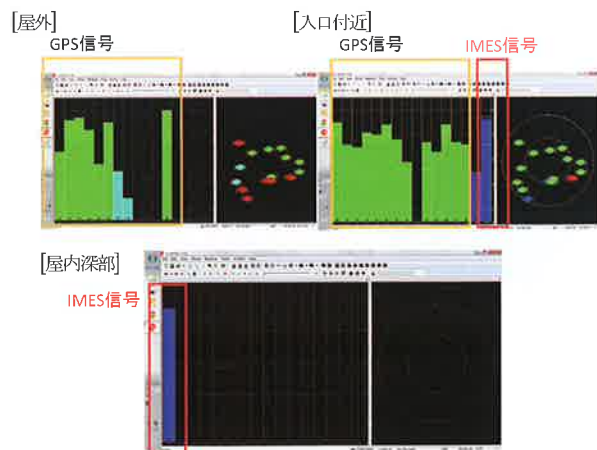


図 3 GPS 受信機の GPS 信号と IMES 信号の受信状況例

これは GPS L1 バンド信号に対する影響を最小にしようという対策である。例えば、受信機の受信信号レベルにおいて、もし IMES 信号が -110 dBm (非常に強い) で GPS 信号が -142 dBm (非常に弱い) の場合は、IMES から与えられる GPS 信号損失は 2 dB 以下となり、IMES 信号が -120 dBm (通常受信レベル) で GPS 信号が -142 dBm の場合は GPS 信号の損失はない。宇宙航空研究開発機構 (2013) により、送信信号出力のガイドラインが示されている。送信機から受信機までの距離が、3 m 及び 5 m のケースを示し、受信点において受信強度が -110 dBm を超えないように、IMES 送信機の最大出力が定められている (図 5)。

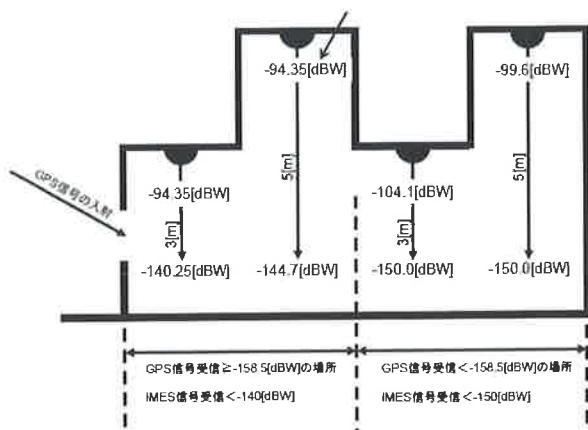


図 5 IS-QZSS IMES 信号の最大出力ガイドライン

IMES 送信機からの信号の自由空間伝搬損失を示すグラフを図 6 と図 7 に示す。図 6 では、送信出力が -70 dBm の場合を示し、環境モデルの係数を変化させている。様々な環境モデルを示す係数  $n$  は、2 ~ 3 までのケースで計算している。係数 2 は、通路のような閉空間を想定した係数であり、係数 3 は、開けた空間を想定している。筆者らが実施した実際の環境での信号受信結果も通路のような閉空間では、信号の減衰量が少なく遠くへ届く傾向が確認されている。図 7 は、係数を  $n=2.5$  に固定し、種々の送信出力での伝搬損失を示す。

自由空間伝搬損失は、次の方程式を使って計算されている。この方程式では、送信機と受信機アンテナの利得は利益 (0dB) としている。

$$L(\text{dB}) = G_T + G_R + 20 \log_{10}(\lambda) - 20 \log_{10}(4\pi) - 10 \log_{10}(d)^n \quad \dots (1)$$

(1) 式は、送信機からの距離  $d$  と損失係数  $n$  に依存することを示す。 $n$  の値は障害物のない開けた空間

を係数 2 とし、そして妨害する要因がある場合は増加する。パーティションを持っている代表的なオフィス空間は、 $n=2.5$  が適当と思われる。グラフは、許可された最大送信電力内でエリアをカバーする送信出力を見積もるガイドラインとして使用される。

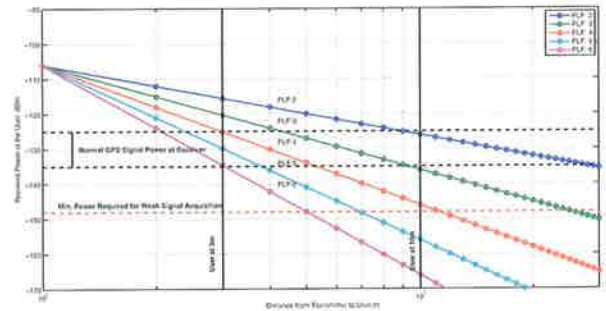


図 6 異なる伝搬損失係数による -70 dBm の送信出力の場合の伝搬損失

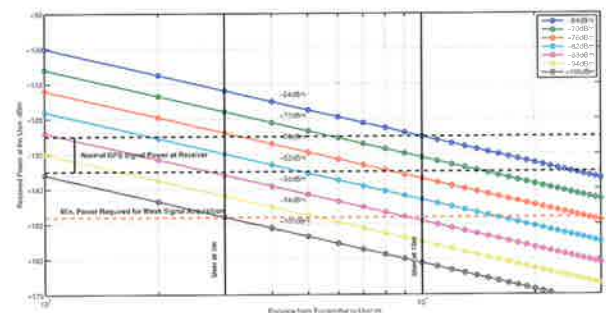


図 7 伝搬損失係数 2.5 とした場合の異なる送信機出力レベル信号伝搬損失

## 5. IMES 測位実用化に向けた取り組み

IMES の開発はグローバル展開を念頭に低コストでインフラ整備ができること、利用者にとってシンプルであることを念頭に置き行ってきた。送信機は、低コストを実現するために LSI (半導体集積回路) を完成させ (図 8)、設置コストや煩雑さを防ぐために IMES 設置システム及びデータベース管理システムを開発した。受信機側は、携帯電話、スマートフォン等あるいは他のいかなる装置であっても GNSS 受信機能が組み込まれている端末の GNSS 部分のファームウェアを IMES PRN コードが読み取れるようにすることで、既存の GNSS 受信機が IMES 信号を受信できる。ハードウェアの追加や修正は必要としない。現在、多機能化する携帯端末では、増え続けるデバイスをできる限り少なくする方向にあり、GNSS デバイスだけで屋内測位機能が対応できることのメリットは、端末機の省電力化、コストダウンという点でも大きい。また、衛